

## **REDES DE DIFRACCIÓN EN FIBRA ÓPTICA APLICADAS A LA MONITORIZACIÓN DE ESTRUCTURAS CIVILES DE HORMIGÓN**

C. Jáuregui, A. Quintela, J. Echevarría, J.M. López Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica  
Dpto. TEISA. Universidad de Cantabria  
Tfno.: 942200877 ext. 16 ; Fax: 942200877  
Correo: jauregui@teisa.unican.es

### **1. Introducción**

Hoy en día cada vez se da más importancia al aspecto de las cosas, y muchas de las decisiones que diariamente se toman se ven influenciadas, en gran medida, por lo que se llama diseño. El mundo de la ingeniería civil no es ajeno a esta tendencia y por ello los proyectos que se presentan para todo tipo de estructuras son cada vez más innovadores. Normalmente esta innovación trae aparejado un aumento en la complejidad de las estructuras. Esto hace que los métodos de cálculo y diseño tradicionales necesiten continuas puestas al día. Lo mismo puede decirse de las técnicas clásicas de monitorización: el tipo de información y, sobretudo, los puntos a los que se puede llegar con ellas y su durabilidad son claramente insuficientes para muchas de las necesidades actuales. Es por ello que existe, desde hace unos años, la creciente necesidad de encontrar técnicas que permitan conocer, de la manera más fiable posible y durante la mayor cantidad de tiempo, el comportamiento de las estructuras diseñadas. En este contexto se comprende el gran interés que han despertado las técnicas de monitorizado basadas en transductores de fibra óptica puesto que, debido a su pequeño tamaño y peso, pueden ser instalados en el interior de las estructuras obteniendo así información que hasta el momento era inaccesible. Asimismo la fibra óptica es un material dieléctrico y totalmente compatible con aquellos empleados en las estructuras de hormigón, lo cual hace que la esperanza de vida de los transductores basados en esta tecnología sea realmente alta. Dentro de los múltiples tipos de sensores en fibra óptica desarrollados hasta la fecha [1], hay dos que han demostrado ser especialmente adecuados para su instalación en estructuras civiles: los basados en interferometría de luz blanca [2] y los que emplean redes de difracción de periodo corto [3]. Los últimos son particularmente interesantes puesto que permiten, además, la multiplexación de varias redes en el mismo canal de fibra óptica reduciéndose, de esta manera, el coste unitario por transductor y la complejidad del cableado. Asimismo este tipo de tecnología es inherentemente sensible tanto a la deformación mecánica como a la temperatura por lo cual se pueden llegar a medir simultáneamente ambos parámetros.

### **2. Diseño del Transductor**

Las redes de difracción de periodo corto se definen como variaciones periódicas del índice de refracción del núcleo de la fibra óptica. Este tipo de estructuras son capaces de reflejar una determinada longitud de onda, conocida como longitud de onda de Bragg, siendo transparentes al resto. La mencionada longitud de onda de Bragg varía cuando se somete la estructura a deformaciones mecánicas y/o a cambios de temperatura. Las sensibilidades típicas de cambio de la longitud de onda es de  $1 \text{ pm}/\mu\epsilon$  para la deformación y de  $10 \text{ pm}/^\circ\text{C}$  para la temperatura. Esta doble sensibilidad exige la inclusión de estrategias que permitan

discernir si el desplazamiento de la longitud de onda de Bragg se ha producido por una variación de la deformación o de la temperatura. En el caso aquí descrito se optó por un sistema de discriminación que emplea dos redes de difracción, una de las cuales se encuentra aislada de la deformación mecánica siendo, por tanto, sólo sensible a la temperatura y actuando, de esta manera, como referencia.

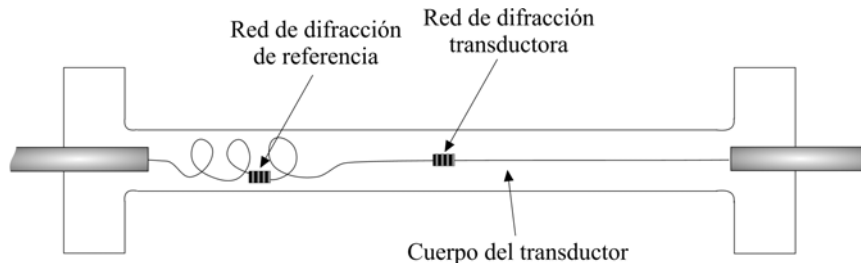


Fig.1. Diseño de transductor para la medida de deformación y temperatura en el interior de estructuras de hormigón.

Dado que la fibra óptica es un medio de transmisión extremadamente frágil, hay que protegerlo adecuadamente frente agresiones externas, y con más motivo todavía en ambientes tan hostiles como los existentes en las obras civiles. Ésta es una de las misiones que ha de desempeñar el cuerpo del transductor, la otra es la de asegurar la perfecta transferencia tanto de la deformación mecánica como de la temperatura desde la estructura a medir hasta la red de difracción. Para ello, además de elegir adecuadamente el material, hay que satisfacer algunos requisitos concretos en el diseño, como por ejemplo, proveer de puntos de anclaje a transductores que vayan a ir insertados directamente en el hormigón. En el caso que se describe en esta comunicación, tal y como se observa en la figura 1, el sistema de anclaje consistió en la provisión de dos “orejas” que sobresalen del resto del cuerpo.

### 3. Resultados de la monitorización de una estructura civil

Con un conjunto de 42 transductores como los descritos en el apartado anterior, multiplexados en un total de 15 ramales de 2 a 4 transductores cada uno, se efectuó la monitorización de dos secciones del viaducto de *las Navas* en la *Autovía del Cantábrico* en su tramo *Cabezón de la Sal-Lamadrid*. Las dos secciones monitorizadas correspondieron a una de pila y una de centro de vano.

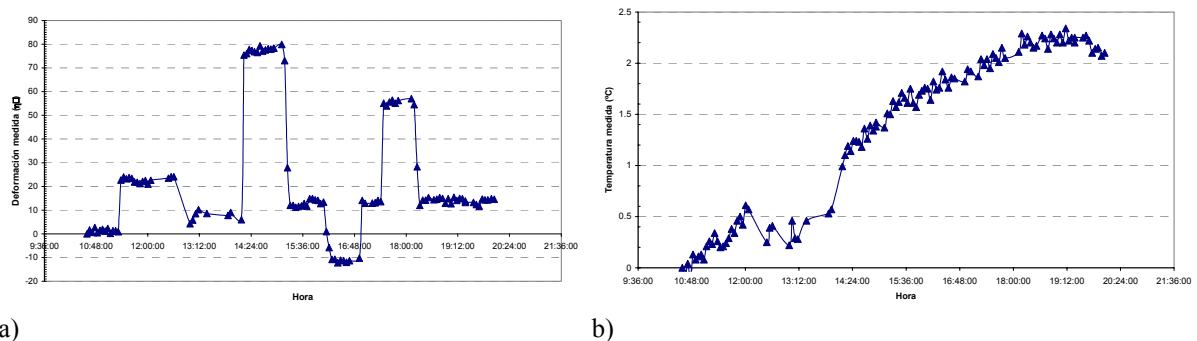


Fig. 2. Resultados de las medidas cuasi-estáticas para: a) la deformación y b) la temperatura.

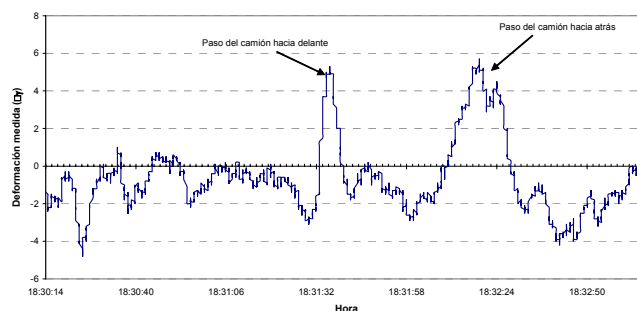


Fig. 3. Resultado de la prueba dinámica

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema instalado se sometió la estructura a varias deformaciones situando varios camiones cargados en diferentes disposiciones encima del viaducto. De esta manera se probó la capacidad del sistema para efectuar medidas cuasi-estáticas. Los resultados de los experimentos anteriores para uno de los transductores situados en la parte inferior del cajón del viaducto en su sección de centro de vano se muestran en la figura 2. Allí, en la gráfica a) de la mencionada figura, puede comprobarse como cada una de las cuatro diferentes disposiciones de camiones provocan un nivel de deformación diferente en el transductor. Asimismo estas deformaciones duran mientras que los camiones estén situados encima de la estructura, retornando la estructura a su estado de reposo cuando éstos se marchan. Queda claro que el transductor, debido a su particular diseño, es capaz de trabajar tanto a tracción como a compresión. Por otra parte la gráfica b) muestra la evolución de la temperatura interna del hormigón, tal y como fue medida por el mismo transductor que registró la deformación durante las casi 10 horas que duraron los experimentos.

Asimismo se sometió a evaluación la capacidad de los transductores para efectuar medidas dinámicas. Para ello se hizo circular un camión cargado hacia delante a 20 km/h primero y, luego, hacia atrás a 10 km/h. De esta manera se registró la evolución de la deformación que se muestra en la figura 3. Puede observarse claramente cómo ambos pasos del camión, tanto el de hacia delante como el de hacia atrás, fueron detectados. De hecho, en el paso hacia atrás se llegan a discernir incluso los dos ejes del camión. Además la anchura de los picos de detección da una idea de la velocidad del vehículo, de esta manera el pico correspondiente al paso a 20 km/h tiene aproximadamente la mitad de anchura que el de 10 km/h.

## Bibliografía

- [1] J.M. López-Higuera, editor, *Handbook of optical fiber sensing technology*, John Wiley, 2002.
- [2] D. Inaudi, A. Elamari, L. Pflug, N. Gisin, J. Breguet y S. Vurpillot, *Sensors and Actuators A* **44** (1994) 125.
- [3] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlanc, K. P. Koo, C. G. Askins. M. A. Putnam y E. J. Frieble, *J. Lightwave Technology* **15** (1997) 1442.

## Agradecimientos

Los trabajos presentados en esta comunicación fueron en parte financiados por la Unión Europea a través del proyecto FEDER 1FD97-0775 SISFOCDETIC y por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología a través del proyecto TIC-2001-0877-C02-01 SuGARUS.